# کاربرد لجن کنورتور اسیدی شده(ضایعات کارخانه فولاد) به‌عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی

علی عباس‌پور، محمود کلباسی و حسین شریعتمداری[۱]


## چکیده

***امکان استفاده از لجن کنورتور، یک محصول فرعی صنایع فولاد، به عنوان کود آهن بررسی شد. حدود ۶۴ درصد وزن این ماده را اکسیدهای دو و سه ظرفیتی آهن و بقیه را به‌طور عمده عناصری مانند کلسیم، سیلیسیم، منگنز، پتاسیم و فسفر تشکیل داده است. این پژوهش به صورت یک آزمایش انکوباسیون در سه خاک آهکی و با نمونه‌های ۴۰۰ گرمی در رطوبت ظرفیت مزرعه و دمای اتاق به مدت دو ماه انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف لجن کنورتور(۰، ۴و۸ درصد)، لجن همراه با گوگرد عنصری وتیوباسیلوس و لجن اسیدی شده بودند. نمونه برداری از تیمارها در زمان‌های ۱، ۱۰، ۳۰و ۶۰ روز پس از شروع آزمایش صورت گرفت.***

***نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد لجن کنورتور باعث افزایش مختصری در pH خاک شد ولی در عین حال قابلیت جذب آهن خاک را افزایش داد. مقدار افزایش به‌طور عمده متناسب با مقدار لجن مصرفی بود. اسیدی کردن لجن کنورتور باعث افزایش چشم‌گیری در قابلیت جذب آهن خاک شد ولی مقدار قابل جذب این عنصر عموماً با گذشت زمان کاهش یافت. استفاده از لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری قابلیت جذب آهن ومنگنز خاک‌ها را در مقایسه با تیمارهای لجن به تنهایی افزایش داد. هم‌چنین استفاده از لجن کنورتور به تنهایی و همراه باگوگرد عنصری واسیدسولفوریک باعث افزایش مختصری در قابلیت جذب فسفر خاک‌ها شد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که لجن کنورتور فولادسازی پتانسیل کاربرد به‌عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی را داراست هرچند که انجام پژوهش‌های بیشتر گلخانه‌ای ومزرعه‌ای به‌منظور بررسی این موضوع مورد نیاز است.***


**واژه‌های کلیدی:** *کلروز آهن، لجن کنورتور فولاد، کود آهن*

## مقدمه

عارضه کلروز آهن عمدتاً در خاک‌های آهکی و قلیایی رایج است که بین ۲۵ تا ۴۵ درصد زمین‌های کشاورزی در سطح جهان آهکی هستند(۲و۴). در ایران نیز این عارضه در کلیه مناطق میوه خیز همچون: خراسان، اصفهان، کرج و آذربایجان وجود دارد (۱). مؤثرترین روش برای مرتفع کردن کلروز آهن، استفاده از کلات‌های مصنوعی آهن است ولی به دلیل گرانی عموماً برای محصولات خاص استفاده می‌شود(۸). بنابراین استفاده از ترکیبات جایگزین که بتواند به طور مؤثر کلروز آهن را معالجه نماید ضروری است. تاکنون بررسی‌های

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ]

زیادی در زمینهٔ استفاده از محصولات جنبی صنایع به عنوان کود آهن در کشاورزی انجام گرفته است. ازجملهٔ این ضایعات می‌توان به لجن کنورتور صنایع فولاد اشاره کرد. لجن کنورتور در کارخانه‌های تولید فولاد در مرحله اکسایش چدن مذاب تشکیل می‌شود. در این مرحله هنگامی که اکسیژن به داخل کوره فولاد (کنورتور) تزریق می‌شود گرد و غباری از داخل کوره به بیرون انتشار می‌یابد. این ذرات به تأسیسات و دستگاه‌ها آسیب می‌رسانند، بنابراین توسط آب جمع‌آوری شده و پس از خشک کردن به‌صورت پودر در انبار نگه‌داری می‌شود. به ازای تولید هر تن فولاد، ۱۳تا ۱۸ کیلوگرم لجن کنورتور به‌صورت پودر تولید می‌گردد (۱۲). تولید سالانه مقدار بسیار زیاد این ماده باعث بروز مشکلات انبارداری گشته و هم‌چنین از لحاظ زیست محیطی ممکن است خطراتی را به همراه داشته باشد. ترکیب این ماده حاکی از وجود تعدادی از عناصر پر مصرف (کلسیم ،منیزیم وفسفر) وکم مصرف (آهن ومنگنز) در غلظت بالاست، پودری بودن آن (سطح ویژه زیاد)و وجود مقادیر نسبتاً زیاد آهن به خصوص آهن دو ظرفیتی امکان کاربرد آن را به‌عنوان کود آهن تقویت می‌کند.

استرولین و برگر(۱۱) از فروسل حاصل از صنایع فولاد به عنوان کود آهن و ماده اصلاحی استفاده نمودند. این ماده که مخلوطی از اسیدسولفوریک و سولفات‌های آهن است، توانست افزایش عملکرد یونجه و ذرت را به همراه داشته باشد. پارکپیان(۹) از لجن کنورتور به‌عنوان کود آهن استفاده نمود. این ترکیب که حاوی ۴۳ درصد آهن، ۵ درصد روی و ۲ درصد منگنز بود به دو صورت پودری و دانه‌ای همراه با اسیدسولفوریک (نسبت ۱:۲ اسید به لجن) یا بدون آن مورد استفاده قرار گرفت که بیشترین عملکرد سورگوم در تیمار لجن پودری اسیدی شده دیده شد. فروهر(۳) در بررسی خود، از پودر آهن ضایعاتی حاصل از صنایع فولاد استفاده نمود که۹۶/۵ درصد ترکیب را اکسید آهن تشکیل می‌داد. استفاده از این ترکیب سبب کاهش معنی‌دار pH و افزایش معنی‌دار آهن قابل استخراج با EDTA در سه خاک مورد آزمایش شد.

والاس و همکاران(۱۳) از مخلوط گوگرد و ضایعات اسیدی آهن حاصله از معادن مس که آیرون سل نامیده می‌شود به‌منظور تصحیح کلروز آهن ناشی از آهک استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که مخلوط آیرون سل و گوگرد (۵۰۰ گرم خاک + ۰/۲۵ گرم آیرون سل + ۰/۷۵ گرم گوگرد) مؤثرترین تیمار بود. آنان بر این باور بودند که اسید موجود در آیرون سل نه تنها در قابل جذب کردن آهن مشارکت می‌کند بلکه توانایی باکتری‌های گوگردی خاک را برای اکسایش گوگرد بالا می‌برد.

هدف‌های این پژوهش عبارت‌انداز:

۱. بررسی تغییرات pH، آهن و سایر عناصر غذایی قابل جذب گیاه در خاک ناشی از افزودن مقادیر مختلفی از لجن کنورتور.

۲. به‌کار بردن مخلوطی از لجن کنورتور با گوگرد عنصری و اسیدسولفوریک و بررسی تغییرات pH، آهن و سایر عناصر غذایی قابل جذب گیاه در خاک. بدیهی است در صورت امکان استفاده از این ترکیب به عنوان کود آهن، علاوه بر کاهش مشکل تغذیه گیاه در خاک‌های آهکی، مشکلات انبار کردن این مواد و هم‌چنین خطرات زیست محیطی حاصل از آن برطرف خواهد شد.علاوه بر آن فروش این ضایعات منبع درآمد اضافی برای کارخانه فولاد نیز خواهد بود.

## مواد و روش‌ها

لجن کنورتور علاوه بر آهن، حاوی مقادیر قابل توجهی کلسیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، منگنز، روی، فسفر و عناصر دیگر می باشد(جدول ۱) که مقادیر آنها بسته به نوع سنگ آهن و روش تولید فولاد، متغیر است(۱۲).

این پژوهش بر روی سه خاک آهکی از مناطق اصغرآباد، گلشهر ومورچه خورت استان اصفهان انجام گرفت. نمونه های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه وخشک شدن در مجاورت هوا از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند ودرهر خاک آهن، منگنز، روی و مس قابل استخراج$NH_4HCO_3$-DTPA(AB-DTPA)، طبق روش پیشنهادی سلطان پور و شواب (۱۰) استخراج شد. تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از قبیل pH گل اشباع، EC عصاره اشباع و بافت خاک



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ]

**جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور**

| ترکیب | مقدار | ترکیب | مقدار |
|---|---|---|---|
| | -----%----- | | -----%----- |
| $Fe_2O_3$ | ۴۴/۳۰ | MnO | ۱/۰۲ |
| FeO | ۱۹/۲۲ | ZnO | ۰/۰۳ |
| CaO | ۶/۱۲ | $V_2O_5$ | ۰/۰۷ |
| $SiO_2$ | ۱/۳۰ | S | ۰/۱۳ |
| MgO | ۰/۲۴ | $Na_2O$ | ۱/۰۲ |
| $Al_2O_3$ | ۰/۱۰ | $K_2O$ | ۰/۲۰ |
| $P_2O_3$ | ۰/۲۷ | L.O.I* | ۰/۳۰ |

*: Loss on ignition

**جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه**

| منطقه نمونه برداری | اصغر آباد | گلشهر | مورچه خورت |
|---|---|---|---|
| بافت خاک | شن رسی | لومی | شن لومی |
| pH | ۷/۵ | ۸/۰ | ۷/۶ |
| EC (dS/m) | ۷/۵ | ۲/۰ | ۱۰/۰ |
| مواد آلی (٪) | ۰/۸۷ | ۰/۷۰ | ۰/۴۶ |
| ازت کل (٪) | ۰/۰۷ | ۰/۰۶ | ۰/۰۲ |
| آهک (٪) | ۴۳ | ۴۰ | ۴۰ |
| فسفر (mg/kg) | ۱۵/۰ | ۱۷/۷ | ۱۵/۷ |
| پتاسیم (mg/kg) | ۱۴۷/۸ | ۱۲۵/۸ | ۲۰۷/۲ |
| آهن (mg/kg) | ۱۵/۷ | ۱۳/۷ | ۶/۳ |
| منگنز (mg/kg) | ۲۲/۲ | ۲۲/۹ | ۸۴/۹ |
| روی (mg/kg) | ۱/۴ | ۱/۴ | ۱/۰ |

و هم‌چنین ماده آلی، ازت خاک، آهک وعناصر عصاره‌گیری شده توسط AB-DTPA در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر لجن کنورتور بر خصوصیات خاک در یک آزمایش انکوباسیون ودر سه تکرار به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل اجرا شد. دراین آزمایش، نمونه‌های خاک (حدود۴۰۰ گرم) در دمای معمولی اتاق و رطوبت ظرفیت مزرعه به مدت ۲ ماه نگه‌داری شدند. تیمارها به قرار زیر است:

۱. $L_0$ :شاهد.

۲. $L_4$ و $L_8$ :لجن کنورتور به میزان۴ و۸ درصد جرم خاک.

۳. $L_4pH_2$ و $L_4pH_4$ :لجن اسیدی شده تاپ هاش۲/۵ و۴/۷ به میزان۴ درصد جرم خاک.

۴. $S_1$ :گوگرد عنصری به میزان۱ درصد جرم خاک.

۵. $L_4S_1$ و$L_4S_1T$: ۴ درصد لجن کنورتور +۱ درصد گوگرد عنصری و همراه با مایه تلقیح تیو باسیلوس.

برای اسیدی کردن لجن کنورتور از اسید سولفوریک غلیظ و برای تیمارهای گوگرد عنصری از پودر میکرونیزه گوگرد استفاده گردید. مایه تلقیح تیو باسیلوس از مؤسسه تحقیقات خاک وآب کشور تهیه شد. نمونه‌برداری از تیمارهای مورد آزمایش در زمان‌های ۱، ۱۰، ۳۰و ۶۰ روز پس از شروع انکوباسیون انجام گرفت. در این نمونه‌ها EC وpH در تعلیق ۲/۵ :۱ خاک به آب تعیین شد. هم‌چنین عناصر Fe، Mn، Zn، Cu، P و K به وسیله عصاره‌گیر AB-DTPA از خاک استخراج شد. آهن، روی، مس ومنگنز عصاره‌گیری شده به وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین المر- مدل ۳۰۳۰، فسفر به روش اسپکتروفتومتری و پتاسیم با روش فلیم فتومتری اندازگیری شد. اندازه‌گیری pH با استفاده از الکترود شیشه‌ای متصل به pH متر مدل ۶۲۰ وEC با دستگاه هدایت سنج متر اهم انجام شد.

## نتایج و بحث

### تغییرات آهن قابل استخراج خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) اثر متقابل تیمار در زمان نگه‌داری را برای آهن قابل استخراج با AB-DTPA در هر سه خاک آهکی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نشان می‌دهد. در تیمارهای لجن کنورتور ($L_4$ و $L_8$) متناسب با مقدار لجن، آهن قابل استخراج با AB-DTPA در خاک‌های مورد آزمایش افزایش یافته است (جدول ۵). استفاده از مقادیر زیاد لجن کنورتور ($L_8$) باعث کاهش قابلیت استخراج آهن در



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ] [ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]



**جدول۳. تجزیه واریانس مربوط به pH و مقدار قابل عصاره‌گیری آهن و منگنز خاک‌ها**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | خاک اصغر آباد | | | خاک گلشهر | | | خاک مورچه خورت | | |
| | | آهن | منگنز | pH | آهن | منگنز | pH | آهن | منگنز | pH |
| تیمار | ۷ | ۳۱۷۸۸/۸** | ۶۹۲۴/۳** | ۰/۲۳** | ۱۵۹۰۲/۴** | ۳۹۱/۴** | ۰/۵۵** | ۱۹۴۳۳/۰** | ۹۶۵/۳** | ۰/۱۷** |
| زمان | ۳ | ۱۲۱۴/۸** | ۱۹۰۲/۷** | ۰/۰۱ns | ۶۸۵/۵** | ۷۵۹/۶** | ۰/۱۴** | ۲۷۲۷/۶** | ۱۴۹۳/۶** | ۰/۰۵** |
| تیمار× زمان | ۲۱ | ۴۵۴/۰** | ۱۳۱۷/۵** | ۰/۰۲** | ۱۵۱/۷** | ۶۱/۵** | ۰/۰۴** | ۶۸۳/۵** | ۳۶۶/۱** | ۰/۰۲** |
| خطا | ۶۴ | ۱۷/۶ | ۳۸۹/۷ | ۰/۰۱ | ۲۰/۴ | ۱/۸ | ۰/۰۰۳ | ۱۰/۳ | ۳/۱ | ۰/۰۰۳ |

**: در سطح احتمال ۱ ٪ معنی دار است.

ns : در سطح احتمال ۵ ٪ معنی دار نیست.

**جدول ۴. تجزیه واریانس مربوط به EC و مقدار قابل عصاره گیری فسفر، پتاسیم و روی خاک‌ها**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | خاک اصغر آباد | | | | خاک گلشهر | | | | خاک مورچه خورت | | | |
| | | فسفر | پتاسیم | روی | EC | فسفر | پتاسیم | روی | EC | فسفر | پتاسیم | روی | EC |
| تیمار | ۷ | ۴/۸** | ۲۶۳/۲ns | ۰/۴۷** | ۳/۲** | ۱۰/۸** | ۱۴۵/۵ns | ۱/۱۳** | ۷/۷** | ۲۳/۵** | ۱۱۶۳/۸ns | ۰/۳۱** | ۱۲/۶ns |
| زمان | ۳ | ۲/۴ns | ۱۹۳/۵* | ۰/۴۴* | ۲/۸** | ۳/۴* | ۳۷/۹ns | ۴/۸۱** | ۲/۳** | ۲۳/۳** | ۴۲۹/۰ns | ۰/۰۴ns | ۱۰/۷ns |
| تیمار×رمان | ۲۱ | ۱/۹ns | ۸۲/۹* | ۰/۱۵ns | ۰/۳** | ۱/۳** | ۹۸/۵* | ۰/۰۰۳** | ۰/۷** | ۳/۳** | ۹۸/۳ns | ۰/۰۶ns | ۷/۸ns |
| خطا | ۶۴ | ۱/۹ | ۶۰/۰ | ۰/۱۲ | ۰/۰۱ | ۰/۹ | ۵۱/۸ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۱/۵ | ۱۰۸/۳ | ۰/۰۶ | ۷/۹ |

**: در سطح احتمال ۱ ٪ معنی دار است.

ns : در سطح احتمال ۵ ٪ معنی دار نیست.

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ] [ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]





جدول۵. اثر تیمار و زمان نگه‌داری بر مقدار آهن(mg/kg) قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA

| خاک | زمان انکوباسیون | تیمار | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $L_0$ | $L_4$ | $L_8$ | $L_4pH_2$ | $L_4pH_4$ | $S_1$ | $L_4S_1$ | $L_4S_1T$ |
| اصغر آباد | ۱ | ۲۵/۴ | ۶۵/۲ | ۶۵/۱ | ۱۸۱/۶ | ۱۷۱/۸ | ۲۸/۵ | ۴۹/۱ | ۶۹/۹ |
| | ۱۰ | ۲۰/۳ | ۶۱/۱ | ۶۵/۱ | ۱۵۸/۰ | ۱۳۸/۰ | ۲۵/۳ | ۴۲/۰ | ۵۱/۵ |
| | ۳۰ | ۱۹/۴ | ۴۵/۱ | ۵۷/۹ | ۱۵۶/۳ | ۱۳۸/۸ | ۲۳/۶ | ۳۹/۹ | ۴۴/۳ |
| | ۶۰ | ۱۹/۷ | ۵۱/۷ | ۴۸/۵ | ۱۴۷/۴ | ۹۹/۸ | ۲۶/۴ | ۳۷/۷ | ۳۶/۳ |
| | میانگین | ۲۱/۲ f | ۵۵/۸ cd | ۵۹/۱ c | ۱۶۰/۸ a | ۱۳۷/۱ b | ۲۵/۹ f | ۴۲/۲ e | ۵۰/۵ d |
| گلشهر | ۱ | ۱۳/۸ | ۳۸/۳ | ۵۴/۳ | ۱۳۴/۹ | ۹۶/۰ | ۱۵/۱ | ۳۷/۱ | ۳۴/۴ |
| | ۱۰ | ۱۵/۲ | ۵۴/۹ | ۵۴/۷ | ۱۱۹/۱ | ۹۲/۶ | ۲۶/۰ | ۳۶/۴ | ۵۳/۱ |
| | ۳۰ | ۱۲/۴ | ۲۹/۸ | ۴۶/۸ | ۱۲۳/۷ | ۸۴/۵ | ۱۷/۷ | ۲۳/۵ | ۵۲/۰ |
| | ۶۰ | ۱۲/۸ | ۳۱/۶ | ۳۸/۰ | ۱۰۴/۷ | ۸۲/۵ | ۱۵/۳ | ۳۵/۷ | ۳۲/۴ |
| | میانگین | ۱۳/۵ f | ۳۸/۷ d | ۴۸/۵ c | ۱۲۰/۶ a | ۸۸/۹ b | ۱۸/۵ f | ۳۳/۲ e | ۴۳/۰ d |
| مورچه خورت | ۱ | ۶/۸ | ۴۲/۹ | ۶۵/۱ | ۱۵۹/۵ | ۱۴۳/۷ | ۸/۹ | ۴۵/۲ | ۴۵/۲ |
| | ۱۰ | ۶/۷ | ۳۸/۶ | ۶۳/۷ | ۱۳۳/۷ | ۹۲/۷ | ۹/۱ | ۳۹/۳ | ۳۶/۵ |
| | ۳۰ | ۵/۶ | ۳۵/۱ | ۵۸/۷ | ۸۶/۳ | ۶۸/۹ | ۷/۳ | ۳۴/۸ | ۳۸/۱ |
| | ۶۰ | ۴/۶ | ۲۴/۹ | ۵۹/۴ | ۹۴/۰ | ۹۰/۲ | ۶/۳ | ۲۷/۹ | ۳۳/۹ |
| | میانگین | ۵/۹ e | ۳۵/۴ d | ۶۱/۷ c | ۱۱۴/۴ a | ۱۰۲/۸ b | ۷/۶ e | ۳۶/۸ d | ۳۸/۴ d |

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ ٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

طـول زمـان نگـه‌داری شـده است. به نظر می‌رسد که دلیل آن، افـزایش pH و رسـوب ترکیبات نامحلول تر آهن در خاک باشد (۷). اسیدی کردن لـجن کنورتـــور ($L_4pH_2$ و$L_4pH_4$) آهن قابل استـخـــراج با AB-DTPA را در مـقایـسه با شـاهـد بـه‌طـــور قابـــل‌ملاحظـه‌ای افـزایش داده است. هر چند که در طول زمان نگـه‌داری از قابلیت استخراج آهن کاسته شده ولی با این وجود مقـدار آن پـس از گذشـت ۶۰ روز از شـروع آزمـایش، چندین برابـر شـاهد می‌باشد، این در حالی است که pH در این تیمارها نسـبت بـه شاهد کاهش چشم‌گیری نداشته است. به عنوان مثال در خـاک مـورچه خـورت pH در تیمار $L_4pH_2$ نسبت به شاهد پـس از پایان دوره انکوباسیون کاهش نیافته، این در حالی است کـه آهـن قابـل استخراج در تیمار مذکور حدود ۱۷ برابر شاهد افـزایش یافـته اسـت کـه نشـان دهنده افزایش شدید آهن قابل استخراج در اثر افزودن لجـن اسیدی شده به خاک بدون کاهش pH اسـت. پارکپـیان (۹) لجـن کـنورتور را بـا اسیدسولفوریک مخلوط نمود(نسبت ۱:۲ گرد و غبار به اسید)، بدین طریق میزان آهـن قابـل اسـتخراج آن از ۴ به ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افـزایش یافـت ولـی پـس از گذشـت ۶۰ روز مقـدار آن بـه ۶ میلـی‌گـرم بر کیلوگرم خاک تنزل یافت. فروهر(۳) گزارش کرد مقـدار آهن قابل استـخراج با EDTA در خاک‌هایی که با پودر اکســید آهـن ضـایعاتی تـیمار شده بودند کاهش معنی‌داری در طول ۶۰ روز آزمایش انکوباسیون داشته است، ضمن این‌که pH ماده مورد استفاده در این پژوهش حدود ۲ گزارش شده بود.

تـیمار ۱ درصـد گوگرد عنصری ($S_1$) تفاوت معنی‌داری در قابلـیت اسـتخراج آهـن نسـبت به شاهد نداشته در حالی که در تـیمارهای لجـن کـنورتور بـه همراه گوگرد عنصری ($L_4S_1$) و تیوباسـیلوس ($L_4S_1T$) افـزایش معنـی‌داری در قابلیت استخراج آهـن نسـبت بـه شـاهد دیده شده ولی نسبت به $L_4$ افزایشی را نشـان نمـی‌دهـد. در طـول زمـان نگـه‌داری مقـدار آهـن قابـل اسـتخراج بـا AB-DTPA در تـیـمارهای لجـــن کـنـورتور بـه همـــراه گوگـرد عنصـــری همـانـند تـیمارهای اسیدسولفوریک کاهش داشته است.

**تغییرات منگنز قابل استخراج خاک**

اثـر مـتقابل تیمار در زمان نگه‌داری برای منگنز قابل استخراج با AB-DTPA در هـر سـه خـاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شـده اسـت (جـدول ۳).تـیمارهای حـاوی اسیدسولفوریک بهترین نتیجه را در افزایش منگنز قابل استخراج در همه خاک‌ها داشـته اسـت (جدول۶)، ولی در این تیمارها با گذشت ۲ ماه از شـروع آزمـایش، کـاهش معنـی‌داری در منگنـز قابـل استخراج نسـبت به زمان شروع آزمایش ایجاد شده است.کاهش عمده در ۱۰ روز اول اتفـاق افتاده، هر چندکه ممکن است این کاهش در زمان کمتر از ۱۰ روز به‌وقوع پیوسته باشد. به نظر می‌رسد روند نزولـی منگنـز قابـل اسـتخراج در طـول زمان نگه‌داری به دلیل تغییـرات pH و رسوب یا اکسایش منگنز II و III به IV می‌شود کـه منگنز IV می‌تواند به‌صورت کانی‌های کم محلول در محیط خـاک رسـوب کـند. تـیمارهای حاوی گوگرد عنصری ($L_4S_1$ و $L_4S_1T$) نیـز افـزایش معنـی‌داری در منگنز قابل استخراج نشان مـی‌دهـند. در طـول نخستین ماه آزمایش، افزایش معنی‌داری در مقـدار منگنز قابل استخراج از خاک در تیمارهای حاوی گوگرد عنصری دیده می‌شود، ولی احتمال می‌رود بخش اعظم اکسایش گوگـرد در مـاه اول اتفاق افتاده باشد. در ماه دوم میزان قابـلیت اســتخراج منگـنـز کاهـش یافـته است. افـزودن لجـن کنورتور ($L_4$ و $L_8$) باعـث افزایش جزئی در قابلیت استخراج منگنز شده اسـت. علت افزایش را می‌توان به منگنز موجود در ترکیب لجن ( به میزان ۱/۰۲ درصد) نسبت داد.

**تغییرات pH و EC خاک**

کاربـرد لجـن اسـیدی کـاهش معنی‌داری درpH خاک نسبت به شـاهد بـه وجـود آورده ولی این کاهش در طول زمان نگه‌داری تـا حـدودی خنثـی شـده اسـت (جـدول ۷). تأثیـر کوتاه مدت تـیمارهای اسـیدی احـتمالاً بـه دلـیل اسید موجود در لجن این تـیمارها و افزایش pH در مراحل بعدی به دلیل خنثی شدن این اسـید بـه وسـیله آهـک خاک است. تیمارهـای حـاوی گوگـرد عنـصری کاهـش معنی‌داری را در pH خاک باعث شـده‌اند ولی



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ] [ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]





**جدول ۶. اثر تیمار و زمان نگه‌داری برمقدار منگنز (mg/kg) قابل عصاره گیری با AB-DTPA**

| خاک | زمان انکوباسیون | تیمار | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $L_0$ | $L_4$ | $L_8$ | $L_4pH_2$ | $L_4pH_4$ | $S_1$ | $L_4S_1$ | $L_4S_1T$ |
| اصغر آباد | ۱ | ۲۶/۶ | ۲۴/۴ | ۴۶/۴ | ۷۷/۶ | ۵۹/۳ | ۵۱/۹ | ۴۹/۷ | ۶۲/۶ |
| | ۱۰ | ۱۵/۹ | ۲۵/۲ | ۳۱/۳ | ۲۲/۹ | ۲۱/۷ | ۸۵/۱ | ۷۵/۱ | ۶۸/۹ |
| | ۳۰ | ۱۶/۹ | ۲۱/۳ | ۱۹/۴ | ۱۹/۶ | ۱۹/۳ | ۹۳/۴ | ۹۶/۷ | ۹۴/۶ |
| | ۶۰ | ۱۰/۴ | ۱۵/۶ | ۱۲/۶ | ۱۲/۷ | ۱۰/۴ | ۷۳/۷ | ۴۱/۳ | ۷۰/۶ |
| | میانگین | ۱۷/۵$^{f}$ | ۲۱/۶$^{e}$ | ۲۷/۴$^{d}$ | ۳۳/۲$^{c}$ | ۲۷/۷$^{d}$ | ۷۶/۰$^{a}$ | ۶۵/۷$^{b}$ | ۷۴/۲$^{a}$ |
| گلشهر | ۱ | ۱۰/۱ | ۱۲/۲ | ۱۴/۸ | ۲۶/۸ | ۱۹/۹ | ۲۷/۳ | ۲۹/۸ | ۲۸/۲ |
| | ۱۰ | ۱۰/۰ | ۲۳/۳ | ۱۰/۹ | ۱۲/۵ | ۱۰/۵ | ۲۷/۰ | ۲۱/۰ | ۳۲/۲ |
| | ۳۰ | ۸/۸ | ۸/۰ | ۹/۶ | ۱۰/۱ | ۹/۱ | ۱۹/۷ | ۱۳/۸ | ۲۷/۲ |
| | ۶۰ | ۴/۸ | ۷/۰ | ۶/۴ | ۶/۴ | ۸/۱ | ۹/۹ | ۱۴/۳ | ۱۰/۶ |
| | میانگین | ۸/۴$^{d}$ | ۱۲/۶$^{c}$ | ۱۰/۴$^{cd}$ | ۱۳/۹$^{c}$ | ۱۱/۹$^{c}$ | ۲۱/۰$^{b}$ | ۱۹/۷$^{b}$ | ۲۴/۶$^{a}$ |
| مورچه خورت | ۱ | ۷/۹ | ۱۰/۲ | ۱۲/۲ | ۵۵/۹ | ۴۵/۸ | ۲۳/۹ | ۲۵/۲ | ۲۷/۹ |
| | ۱۰ | ۶/۱ | ۹/۸ | ۱۳/۰ | ۱۵/۲ | ۱۱/۷ | ۳۹/۴ | ۴۰/۵ | ۳۸/۱ |
| | ۳۰ | ۵/۴ | ۷/۲ | ۸/۶ | ۹/۴ | ۶/۵ | ۱۶/۳ | ۴۰/۱ | ۲۷/۹ |
| | ۶۰ | ۲/۳ | ۳/۴ | ۷/۶ | ۶/۷ | ۸/۲ | ۱۱/۵ | ۹/۷ | ۱۵/۰ |
| | میانگین | ۵/۴$^{f}$ | ۷/۷$^{e}$ | ۱۰/۴$^{d}$ | ۲۱/۸$^{b}$ | ۱۸/۱$^{c}$ | ۲۲/۸$^{b}$ | ۲۸/۹$^{a}$ | ۲۷/۲$^{a}$ |

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ ٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ] [ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]



**جدول ۷. اثر تیمار و زمان نگه‌داری بر pH خاک‌ها**

| خاک | زمان انکوباسیون | تیمار | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $L_0$ | $L_4$ | $L_8$ | $L_4pH_2$ | $L_4pH_4$ | $S_1$ | $L_4S_1$ | $L_4S_1T$ |
| اصغر آباد | ۱ | ۷/۷۶ | ۷/۷۰ | ۸/۰۰ | ۷/۵۰ | ۷/۶۰ | ۷/۵۸ | ۷/۸۰ | ۷/۵۶ |
| | ۱۰ | ۷/۷۳ | ۷/۸۶ | ۷/۹۳ | ۷/۷۲ | ۷/۶۷ | ۷/۵۵ | ۷/۶۱ | ۷/۶۱ |
| | ۳۰ | ۷/۷۶ | ۶/۷۶ | ۸/۰۳ | ۷/۷۰ | ۷/۷۳ | ۷/۵۳ | ۷/۶۳ | ۷/۶۵ |
| | ۶۰ | ۷/۸۳ | ۷/۸۳ | ۷/۹۶ | ۷/۶۷ | ۷/۷۶ | ۷/۵۳ | ۷/۵۵ | ۷/۶۳ |
| | میانگین | ۷/۷۷ b | ۷/۷۹ b | ۷/۹۸ a | ۷/۶۵ cd | ۷/۶۹ c | ۷/۵۵ d | ۷/۶۵ cd | ۷/۶۱ cd |
| گلشهر | ۱ | ۷/۹۸ | ۷/۹۶ | ۸/۰۰ | ۷/۳۸ | ۷/۶۰ | ۷/۸۳ | ۷/۸۵ | ۷/۸۸ |
| | ۱۰ | ۸/۱۱ | ۸/۱۵ | ۸/۲۵ | ۷/۶۷ | ۷/۸۰ | ۷/۷۰ | ۷/۷۵ | ۷/۷۱ |
| | ۳۰ | ۸/۰۰ | ۸/۰۳ | ۸/۱۰ | ۷/۷۲ | ۷/۶۵ | ۷/۶۰ | ۷/۵۷ | ۷/۵۶ |
| | ۶۰ | ۸/۰۱ | ۸/۰۳ | ۸/۰۰ | ۷/۵۰ | ۷/۶۵ | ۷/۶۲ | ۷/۵۰ | ۷/۳۶ |
| | میانگین | ۸/۰۳ a | ۸/۰۴ a | ۸/۰۹ a | ۷/۵۷ c | ۷/۶۷ b | ۷/۶۹ b | ۷/۶۷ b | ۷/۶۳ bc |
| مورچه خورت | ۱ | ۷/۶۵ | ۷/۹۳ | ۷/۹۸ | ۷/۶۳ | ۷/۶۰ | ۷/۷۲ | ۷/۷۲ | ۷/۸۰ |
| | ۱۰ | ۷/۷۰ | ۷/۷۸ | ۸/۰۰ | ۷/۶۸ | ۷/۶۳ | ۷/۶۳ | ۷/۶۵ | ۷/۶۶ |
| | ۳۰ | ۷/۷۳ | ۷/۷۰ | ۷/۹۰ | ۷/۶۲ | ۷/۷۲ | ۷/۴۵ | ۷/۵۵ | ۷/۵۸ |
| | ۶۰ | ۷/۷۰ | ۷/۸۶ | ۷/۸۸ | ۷/۷۵ | ۷/۶۸ | ۷/۵۲ | ۷/۵۳ | ۷/۵۵ |
| | میانگین | ۷/۶۹ c | ۷/۸۲ b | ۷/۹۴ a | ۷/۶۷ c | ۷/۶۶ c | ۷/۵۸ d | ۷/۶۱ d | ۷/۶۵ cd |

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ ٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ] [ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]





**جدول ۸ مقایسه اثر تیمارها بر مقدار فسفر ، پتاسیم و روی (mg/kg) قابل عصاره گیری با AB-DTPA و EC (dS/m) خاک‌ها (آزمون دانکن)**

| تیمار | خاک اصغر آباد | | | | خاک گلشهر | | | | خاک مورچه خورت | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | فسفر | پتاسیم | روی | EC | فسفر | پتاسیم | روی | EC | فسفر | پتاسیم | روی | EC |
| $L_0$ | ۱۱/۱ $^{b}$ | ۱۴۰/۴ $^{a}$ | ۲/۴ $^{b}$ | ۳/۱ $^{c}$ | ۱۳/۰ $^{c}$ | ۱۳۹/۵ $^{a}$ | ۱/۶ $^{b}$ | ۰/۹ $^{d}$ | ۲۰/۱ $^{a}$ | ۲۷۱/۹ $^{a}$ | ۱/۴ $^{b}$ | ۲/۲ $^{b}$ |
| $L_4$ | ۱۲/۳ $^{ab}$ | ۱۴۰/۵ $^{a}$ | ۲/۳ $^{b}$ | ۳/۱ $^{c}$ | ۱۴/۲ $^{b}$ | ۱۴۷/۹ $^{a}$ | ۱/۸ $^{b}$ | ۰/۸ $^{d}$ | ۲۱/۷ $^{a}$ | ۲۵۵/۳ $^{a}$ | ۱/۴ $^{b}$ | ۲/۲ $^{b}$ |
| $L_8$ | ۱۲/۵ $^{ab}$ | ۱۳۲/۸ $^{a}$ | ۲/۴ $^{b}$ | ۲/۹ $^{c}$ | ۱۵/۱ $^{ab}$ | ۱۳۸/۴ $^{a}$ | ۱/۸ $^{b}$ | ۰/۸ $^{d}$ | ۲۱/۹ $^{a}$ | ۲۵۳/۵ $^{a}$ | ۱/۵ $^{b}$ | ۲/۱ $^{b}$ |
| $L_4pH_2$ | ۱۲/۸ $^{ab}$ | ۱۴۲/۲ $^{a}$ | ۲/۹ $^{a}$ | ۳/۹ $^{b}$ | ۱۶/۰ $^{a}$ | ۱۴۵/۸ $^{a}$ | ۲/۴ $^{a}$ | ۲/۶ $^{a}$ | ۲۱/۹ $^{a}$ | ۲۵۸/۱ $^{a}$ | ۱/۷ $^{a}$ | ۳/۰ $^{a}$ |
| $L_4pH_4$ | ۱۲/۷ $^{ab}$ | ۱۴۳/۶ $^{a}$ | ۲/۸ $^{a}$ | ۳/۹ $^{b}$ | ۱۵/۳ $^{ab}$ | ۱۴۶/۷ $^{a}$ | ۱/۹ $^{ab}$ | ۲/۴ $^{b}$ | ۲۰/۶ $^{a}$ | ۲۶۲/۶ $^{a}$ | ۱/۷ $^{a}$ | ۲/۹ $^{a}$ |
| $S_1$ | ۱۱/۷ $^{b}$ | ۱۴۷/۲ $^{a}$ | ۲/۶ $^{ab}$ | ۴/۲ $^{a}$ | ۱۵/۲ $^{ab}$ | ۱۴۱/۶ $^{a}$ | ۱/۴ $^{b}$ | ۲/۳ $^{bc}$ | ۱۸/۳ $^{b}$ | ۲۶۶/۱ $^{a}$ | ۱/۳ $^{b}$ | ۲/۸ $^{a}$ |
| $L_4S_1$ | ۱۲/۶ $^{ab}$ | ۱۴۵/۰ $^{a}$ | ۲/۵ $^{b}$ | ۳/۹ $^{b}$ | ۱۵/۴ $^{ab}$ | ۱۴۲/۸ $^{a}$ | ۲/۰ $^{ab}$ | ۲/۳ $^{bc}$ | ۱۹/۸ $^{ab}$ | ۲۳۹/۹ $^{a}$ | ۱/۶ $^{ab}$ | ۲/۹ $^{a}$ |
| $L_4S_1T$ | ۱۳/۰ $^{a}$ | ۱۴۷/۱ $^{a}$ | ۲/۷ $^{ab}$ | ۴/۰ $^{ab}$ | ۱۵/۴ $^{ab}$ | ۱۴۱/۲ $^{a}$ | ۱/۶ $^{b}$ | ۲/۲ $^{c}$ | ۱۸/۸ $^{b}$ | ۲۶۵/۲ $^{a}$ | ۱/۴ $^{b}$ | ۲/۸ $^{a}$ |

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ ٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

بـر خـلاف تـیمارهای اسید سولفوریک در طول زمان نگه‌داری افـزایش معنـی‌داری درpH خـاک دیـده نشده که نشان‌دهنده اثر دراز مـدت‌تـر گوگـرد بـر کـاهش pH خـاک است.کاهش pH خـاک‌هـای آهکی در اثر افزودن گوگرد عنصری توسط محققان زیـادی تأیـید شـده اسـت (۵ و۶). تـیمارهای$L_4S_1T$و$L_4S_1$ آثار مشابـهی بر کاهـش pH خاک داشـته‌انـد احتـمالاً گونـه‌هـای تیوباسـیلوس اسـتفاده شـده در شـرایط این خاک فعال نبوده‌اند. مقادیر زیاد لجن کنورتور به تنهایی باعث افزایش جزئی در pH خـاک شـده کـه بـه دلیل بالا بودن pH لجن (pH تعلیق ۲/۵: ۱ لجن به آب برابر ۱۱/۲ ) می‌باشد.

در خـاک‌هـای مـورد آزمـایش تـنها تـیمارهای حـاوی اسیدسـولفوریک و گوگـرد عنصـری باعـث افـزایش معنـی‌دار هـدایت الکتریکی نسبت به شاهد گردیده‌اند (جدول ۸). به‌طور کلـی در تیمارهایـی کـه باعـث آزاد شـدن $H^+$ شـده (اسـید سولفوریک وگوگرد عنصری) حلالیت املاح ونمک‌های موجود در خـاک و لجـن افـزایش یافته وبدین طریق هدایت الکتریکی خاک افزایش می‌یابد.

### تغییرات فسفر، پتاسیم وروی قابل استخراج

نـتایج تجـزیه واریـانس داده‌هـا (جـدول ۴)، اثـر تـیمارها بـر فسـفر و روی قابـل اسـتخراج بـا AB-DTPA را در هـر سـه خـاک مـورد آزمـایش درسـطح احـتمال ۱٪ معنـی‌دار نشـان داده درحالـی‌کـه پتاسـیم قابـل اسـتخراج حتـی در سـطح ۵٪ معنـی‌دار نشـده اسـت. کاربـرد لجـن کـنورتور بـه تنهایـی بـا وجـود افـزایش جزئـی در pH خـاک مـوجب افـزایش مختصـری در قابلـیت اسـتخراج فسـفر نسـبت بـه شـاهد شده اسـت (جـدول ۸). درخـاک‌هـای مـورد آزمـایش، کاربـرد تـیمارها تأثیـر معنـی‌داری در پتاسـیم قابـل اسـتخراج بـا AB-DTPA نداشـتـه‌انـد (جـدول ۸). روی قـابـل اسـتخراج بـا AB-DTPA تـنها در تـیمارهـای اسیدسـولـفوریک افـزایش معنـی‌داری نسـبت بـه شـاهد داشـته است (جدول۸).

حلالـیت روی همانـند منگنـز و آهـن شـدیداً بـه pH وابسـته اسـت و بـا کـاهـش pH، حلالـیت کانـی‌هـای حـاوی روی افزایش می‌یابد (۷).

## نتیجه‌گیری

کاربـرد لجـن کـنورتور باعـث افـزایش مقدار آهن قابل جذب خـاک‌هـا شـد و مقـدار افـزایش عمـوماً متناسـب با مقدار لجن مصرفی بود. استفاده از لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری و اسـید سـولفوریک قابلـیت جـذب آهـن و منگنز را در خاک‌ها درمقایسـه بـا تـیمارهای لجـن بـه تنهایـی افـزایش داد کـه اسیدسـولفوریک از ایـن نظـر مؤثرتـر از گوگـرد عنصـری بود. اسـتفاده از لجن کنورتور به تنهایی و یا همراه با گوگرد عنصری و اسیدسـولفوریک افزایش مختصری را در قابلیت جذب فسفر خـاک‌هـا باعـث شـد. کاربـرد مقادیر زیـاد لجن کنورتور باعث افـــزایش جـزئـــی در pH خـــاک‌هـــا شـــدند در حالـــی‌کـــه اسیدسـولفوریک و گوگـرد عنصـری کـاهـش pH خاک‌ها را به همراه داشتند. با گذشت زمان در آزمایش انکوباسیون، یک روند نزولـی در مقـدار آهـن و منگنـز قابل استخراج خاک‌ها در همه تـیمارها دیـده شـد. شـدت کـاهش در تیمارهای حاوی گوگرد عنصـری کندتـر بـود. کاربـرد لجـن کـنورتور همـراه با گوگرد عنصری و اسیدسولفوریک، هدایت الکتریکی خاک‌ها را افزایش داد ولـی تأثیـر اسیدسـولفوریک در این ارتباط مشهودتر بود. به مـنظور تأیـید و کاربـردی شـدن نـتایج ایـن پـژوهش، انجـام بررسـی‌های گلخانه‌ای و مزرعـه‌ای با استفاده از گیاهان حساس بـه اسـترس آهـن و کاربـرد لجـن کـنورتور بـه‌عنوان کود آهن پیشنهاد می‌شود.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ]

## منابع مورد استفاده


۱. سالاردینی،ع. ا. ۱۳۷۱. *حاصلخیزی خاک*. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.

۲. سالاردینی،ع. ا. و م. مجتهدی، ۱۳۶۷. *اصول تغذیه گیاه*. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۳. فروهر، م. ۱۳۷۱. بررسی امکان استفاده از پودر اکسید آهن ضایعاتی حاصل از فرایند اسیدشویی فولاد به‌عنوان کود آهن، دانشکده کشاورزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

٤. کلباسی، م. ۱۳۷۴. کلروز آهن در گیاهان و راه‌های مبارزه با آن. نشریه شماره ۱۸، سازمان پارک‌ها و فضای سبز اصفهان.

5. Kalbasi, M.,F. Filsoof and Y. Rezai-Nejad. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. J. Plant Nutr. 11: 1353-1360.
6. Kaplan, M. and S. Orman. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. J. Plant Nutr. 21(8): 1655-1665.
7. Lindsay, W. L. 1992. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, Inc. New York.
8. Mortvedt, J.J. 1988. Iron source and management practices for correcting iron chlorosis problem. J. Plant Nutr. 9: 94-97.
9. Parkpian, P. 1983. The Potential of Iron Waste By-Product as an Iron Fertilizer in Alkaline Soil. Texas A & M University.
10. Soltanpour, P.N. and A.P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction macro and micro- nutrients in alkaline soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8(3): 195-207.
11. Stroehlin, J.L. and C. Berger. 1963. The use of ferrosul, a steel industry by-product, as a soil amendment. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 51-53.
12. United Nations. 1990. The recuperation and economic utilization of by-product of the iron and steel industry. Economic Commission for Europe. Geneva.
13. Wallace, A., Y.S. Samman and C.A. Wallace. 1982. Correction of lime-induced chlorosis in soybean in a calcareous soil with sulfur and an acidifying iron compound. J. Plant Nutr. 5(4-5): 949-953.


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-02-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.6.7 ]